

世界现代前期 科技史

张才彬 著

中国国际广播出版社

内 容 提 要

1870 年—1918 年,屈指算来不过 48 年的时间,但这 48 年却横跨了两个世纪。本书反映的是这一历史阶段世界科学技术发展的概貌。

世界现代前期科技史的主要内容包括:发生在这一历史时期的以电力技术为中心的第二次动力革命;发生在 19 世纪末至 20 世纪初的物理学革命与相对论的创立过程,并对世纪之交的化学、生物学、数学所取得的成就以及炼钢技术的发展等作了较为详尽的论述。

本书内容以史为主、史论结合,透视了作为科学技术这一特定文化现象的哲学内涵,对重要的人物和事件则作了专章介绍或着重论述。

目 录

世界现代前期科技史

一、概 述	1
二、热机变革及对交通事业的促进	13
1. 内燃机的发明与发展	13
2. 内燃机的应用和推广	16
三、第二次动力革命——电力的发展和应用	26
1. 电力技术的发展	26
2. 电力的应用	34
四、物理学革命与相对论的创立	49
1. 狭义相对论的创立	49
2. 广义相对论的创立及其实验验证	67
3. 科学巨匠爱因斯坦	83
五、化学理论的发展与化学工业的勃兴	98
1. 元素周期律的发现与周期表的形成	98
2. 同位素的发现和命名	104
3. 化学理论的发展	105
4. 化学工业的勃兴	108

六、炼钢技术的成熟和钢铁工业的发展	116
1. 从铁到钢的变化	116
2. 炼钢方法的变革	117
3. 钢铁时代的到来	124
七、生物学的发展及其成就	131
1. 达尔文的贡献	131
2. 细胞的发现与细胞学说的发展	134
3. 孟德尔的遗传定律	135
4. 摩尔根的基因学说	141
5. 巴斯德与微生物学	145
6. 生态学的形成	148
八、世纪之交的数学	149
1. 康托和集合论	149
2. 希尔伯特对数学的贡献	153
九、世纪之交的科技特点及其比较	163
1. 经典科学理论向现代科学理论的转变	163
2. 以电气技术为主导,带动、促进其他领域的技术发展	165
3. 技术受经济的制约,随经济的发展而发展	166
4. 科学研究向群体化发展	167
5. 科学——技术——生产趋向紧密结合	168
6. 研究机构的建立和科研团体的发展	169
7. 不同学科之间、不同技术之间相关发展日益突出	171

一、概 述

1870年—1918年,总算起来不过48年时间,可这48年时间却非同寻常。它在世界历史上占有重要的地位;它在人类的文明史上留下了辉煌灿烂的篇章。

有人把这一时期称作发明的英雄时代,绝非评价过高,在这近半个世纪的时间里,继英国、法国之后,德国、美国和日本也实现了产业革命,完成了工业化的历史任务,成为工业发达的国家。这段时间,恰处世纪之交,偏于此时爆发了第一次世界大战,后又发生了俄国十月革命,这些重大的历史事件和社会变革,自然会对世界范围内的科学技术发展产生影响。

1900年,在19世纪终结,20世纪开启之际,有两位科学巨人,在世界科学讲坛,分别作了关于物理学和数学发展前景的演讲,颇有辞旧迎新之感,昭示后人之意。他们一位是物理学泰斗开尔文勋爵(威廉·汤姆生),另一位是数学大师希尔伯特。开尔文勋爵总结了19世纪物理学取得的巨大成就,同时也忧心忡忡地指出了物理学上空出现的两朵乌云。恰恰是这两朵乌云形成了巨大的风暴,酿就了20世纪初物理学领域的革命。天才的爱因斯坦以其所创立的相对论,不仅包容了牛顿的经典力学体系,而且为以后物理学的发展指明了方向。希尔伯特值此世纪之交的当口归纳提出了数学领域有重大意义然而又尚未解决的23

个问题,以期引起数学界的重视和研讨。孰不知这些问题竟对20世纪的数学研究发挥了巨大的指导作用。在解决这些问题的过程中,还获得了一系列与此相关的重大研究成果。其意义或许远远超过了这些问题本身。

关于物理学的情况,在此不妨作一点历史的回顾。在19世纪60年代,物理学的发展在当时说来,可谓达到了辉煌的顶点。经典物理学已经形成十分完备的理论体系。它所包含的经典力学和经典电磁学理论已达到“尽善尽美”的地步。牛顿以其创立的第一、第二、第三三条运动定律和万有引力定律构建了“坚不可摧”的经典力学大厦。麦克斯韦运用数学分析法建立了麦克斯韦方程组,从而把光、电、磁现象统一了起来。至此,很多人认为,经典物理学已经达到了顶峰,人类对自然的认识也已达到了尽头。因此,物理学从19世纪70年代起直至19世纪末,再没有取得显著进展(孕育着巨大变革)。当物理学家们送别19世纪,迎接20世纪的时候,英国享有盛名的科学家威廉·汤姆生(开尔文勋爵)于1900年4月27日发表了一篇历史总结性演讲。他概括了19世纪物理学取得的巨大成就。也指出了在古典物理学万里长空中还飘荡着两朵“乌云”。其中之一是同比热和热辐射有关的理论问题。汤姆生认为它还可望“在20世纪开头获得解决”;而另外一朵乌云即“以太漂移”实验的否定结果则看不到任何可解决的途径。汤姆生说“恐怕我们仍然必须把这一朵乌云看作是非常稠密的”。

乌云本是不祥之兆。处在世纪之交的物理学家们,以此坦露了他们感到的困惑。因为“以太漂移”实验的否定结果,预示着经典物理学的理论根基发生了动摇。然而,正是这两朵乌云引发了20世纪的物理学革命,解除了人们的困惑,使经典物理学从山

重水复疑无路，走进了柳暗花明又一村。在物理学这场伟大的变革中，科学巨匠爱因斯坦以其超人的智慧和独特的思维，创立了狭义相对论和广义相对论，其理论不仅囊括了经典物理学的理论体系，而且把物理学推进到现代科学的新阶段。狭义相对论以惯性参考系中的“相对性原理”和“光速不变原理”否定了牛顿的绝对时空观，指出了仅仅在低速运动状态下经典力学的合理性，从而化解了以太之谜。在爱因斯坦完成狭义相对论之后，又向新的目标展开了进攻。他将相对性原理由惯性参考系进一步扩大到任意参考系，并把牛顿的引力理论作为一级近似包容其中，从而又创立了广义相对论。爱因斯坦在许多研究领域都取得了突破性的成果，在科学上为全人类作出了划时代的巨大贡献。

1880 年以后，一场新的技术革命在世界范围内迅速展开。在这场革命中有三人技术发明带动了整个工业的发展。它们是法拉第发现电磁感应而导致的电力技术的发展和运用；贝塞麦炼钢法的成功奠定了钢铁工业大发展的基础；焦油化学理论的突破带来了有机化学工业的繁荣。

1820 年奥斯特发现了电流的磁效应，1831 年法拉第发现了电磁感应。这些看似微不足道的发现却孕育着第二次技术革命的兴起，以电能为主要动力的电力革命从此揭开了序幕，使 20 世纪成为“电气化世纪”。发电机的研制成功，迅速形成了一个以汽轮机、水轮机等为原动力，以交流发电机为核心，以变压器等电器的输配电系统为动脉的变压输电网。电，可以为电报、电话、电灯提供能源，亦可通过电动机将电能转变成机械能以带动其他机械做功。电的发现和利用是人类自觉应用电学知识的伟大成果。从此，电取代了蒸汽，它所创造的生产力是蒸汽时代所不可比拟的。蒸汽机利用机械力代替人的体力，是扩展人类肢体功

能的一次革命；电的应用，尤其是电报、电话、无线电的应用是扩展人类感官功能的一次革命。电的应用，是科学转化为技术、技术转化为社会生产力的最好证明。随着科学技术的发展，电的应用逐渐深入到人类生活、生产的各个领域，它不仅给经济生活带来了前所未有的大发展，而且给人们的文化生活增添了丰富多彩的新内容。

蒸汽机技术的发明和应用，引发了 18 世纪的产业革命。从此机器大生产逐渐代替了手工业的生产方式，生产效率十倍、百倍地增长，产品质量其精细和准确程度使手工制品望尘莫及，达到了近乎完美的地步。蒸汽机在其发明后的一百多年中，形成了极大的生产力，建立了极其宏伟的业绩。然而，随着时代的发展和科学技术的进步，蒸汽机不可克服的缺点（笨重、热效率低、不安全等），促使人们去研制新的动力装置。于是在蒸汽机不断改进的同时，在热力学等科学理论的指导下，一种新型热机——内燃机诞生了。作为内燃机产生的前提条件，当然是燃料的变革。在 18 世纪末英国人默多克（1754—1839）发现了用煤在炼制焦炭的过程中，同时有煤气生成，很快，这种可燃气体便在 19 世纪初被欧洲一些国家用于照明。1859 年美国入德莱克（1819—1880）用顿钻成功地打出了石油，到 19 世纪 70 年代石油生产进入了工业化时期。在煤气和石油能够充分供应的情况下，内燃机的发明才成为可能。法国人雷诺（1822—1900）发明了第一台二冲程煤气机，后由德国人奥托（1832—1891）、戴姆勒（1834—1900）和狄赛尔（1858—1913）对内燃机进行了重要改进，于是出现了四冲程煤气机、汽油机和柴油机。以后又出现了蒸汽涡轮机和燃气轮机。这一系列内燃机的改进、发展和应用，促进了交通事业的发展。其后出现了汽车、轮船、飞机等现代化的交通工具。

在这一时期,化学理论取得了重大进步,因而推动了化学工业的前进。俄国科学家门捷列夫关于元素周期律的发现和周期表的提出,是化学理论研究的巨大成果。从此,人们利用周期律和周期表可以掌握元素的基本化学性质,从而把握化学反应的过程,预见化学反应的结果。并可据此预见未知元素的存在及其性质,在门捷列夫工作的基础上,英国的莫斯莱(1887—1915)和德国的柯塞尔(1888—1956)对元素周期律进行了科学的阐述,进一步完善了周期律理论。此后,一些新元素陆续被发现,如惰性气体、放射性元素、稀土元素等。当时,门捷列夫制出的周期表,列出了 66 个位置,找到了 63 种元素,而到 1945 年元素周期表列出的 92 个元素均已找到。在 20 世纪 40 年代,科学家们在寻找新元素的过程中,又发现了一系列超铀元素。于是突破了 92 号元素的界限,使元素周期表又一次得到修正和完善。科学家们在研究中发现,有些元素化学性质十分相似,它们总是紧密地相聚在一起,很难使它们分离。英国的索第(1877—1956)由此提出了“同位素”的概念,进一步丰富了元素周期律,完善了元素周期表。后来,物理化学、电化学、结构化学等一系列新的理论相继产生,对化学工业的发展产生了巨大的指导作用。

化学工业,包括无机化学工业和有机化学工业两部分。首先发展起来的是无机化学工业。无机化学工业的主要产品是酸和碱。在 19 世纪初期,酸、碱的制取都有了较为成熟的方法并逐渐形成一定的规模。而克尼奇的接触法制酸,和索尔维的氨碱法制碱,使酸、碱生产都进入现代化阶段。

有机化学工业的兴起始自维勒和李比希。维勒不仅合成了尿素打破了生命力论,而且和李比希一起提出了基团理论,开创了合成化学的新时代。在他们的带动下,德国出现了一大批杰出

的科学家,如凯库勒、霍夫曼等。他们以煤焦油作原料,合成了一系列苯胺染料,其中最主要的是茜素和靛蓝,从而结束了由植物中提取茜素和靛蓝的历史。后来合成香料、合成药品、合成炸药均获成功。从此使煤化学成为化学的一个重要分支。合成化学取得的一系列巨大成就,使德国开始成为世界科学的中心。

电力技术的发展,化工技术的兴起,炼钢法的出现——这是第二次技术革命的重要成果和显著标志。

当人类社会步入铁器时代的时候,伴之而来的是铁器文化的兴起。世界著名的埃菲尔铁塔恰似一座历史的丰碑,成为钢铁时代的象征,钢铁冶炼技术的发展经历了从铁到钢的过程和炼钢法的一系列改进。高炉炼铁在 14 世纪就已出现,18 世纪随着焦炭冶炼代替木炭冶炼使炼铁技术进入了焦炭时代。铁器的使用,提高了生产力,改善了人们的物质生活条件。在此情况下,铁的需求量日益增加,但铁的弱点也越来越突出:生铁太脆,熟铁又太软。于是人们开始寻求新的冶炼方法,以期得到具有韧性的钢。在 19 世纪下半叶,由炼钢法的突破迎来了钢铁工业的新时代。

1856 年 8 月,英国的贝塞麦发表了《关于不使用燃料生产可锻铁和钢》的论文。在此之前,他发明了转炉炼钢新技术,使用了“吹气精炼法”。贝塞麦指出,这种炼钢法只需从炉底吹入空气,“除了铁水和空气什么也不需要”。人们对于贝塞麦的炼钢法疑惑不解,但贝塞麦的公开实验却使人们出乎预料,大开眼界。炼钢炉鼓入空气后,不但炉温没有降低反而升高,铁水中所含的锰、硅、磷等杂质在高温中氧化脱出,同时生铁中的碳也被氧化成二氧化碳,用了不到半个小时的时间,炼出一炉钢水。为了便于钢水倒出,贝塞麦把炼钢炉从固定式改为转动式结构,并获得

了这一发明的专利。

贝塞麦炼钢法适用于冶炼含磷、硫量较低的矿石炼出的生铁,而对含磷、硫量较高的生铁则不适用。这一问题的解决是由英国的托马斯完成的。托马斯通过试验找到了理想的脱磷方法。他用向炉内添加石灰石的方法,使磷进入矿渣,为避免石灰石和原来的酸性炉衬起化学反应,又把原来的酸性炉衬改为碱性炉衬,即由酸性硅酸质改变为碱性石灰质。托马斯对贝塞麦炼钢法的改革获得极大成功。

与贝塞麦炼钢法并驾齐驱的还有平炉炼钢法亦称西门于一马丁炼钢法。平炉有个较大的熔池,将经由下层蓄热室预热的空气和煤气送入上层,在熔池的铁水表面吹拂、燃烧,可较彻底地将铁水中的碳和其他杂质氧化。虽然平炉冶炼过程比转炉耗时要长,但平炉的容量大,产量高,原料广泛,炼出的钢质优良,因此适宜于大规模生产。

19 世纪末的后 30 年,由于现代钢铁技术体系的形成,钢铁工业发展迅猛,30 年钢产量增加了 120 倍,到 20 世纪初叶,钢铁仍在稳步发展,而且钢的品种也不断增加,并出现了各种合金钢和特种钢。

钢铁的发展,特别是钢铁材料的使用,引起了社会生活的巨大变化。在水泥发明之后,出现了钢筋混凝土建筑。其中有高层楼房、大型桥梁等。另外,铁路铺设,机械产品的生产,轮船、汽车的制造等,没有大量钢铁作支撑,是不可能发展起来的。19 世纪末至 20 世纪初,钢铁工业的大发展和钢铁材料的广泛应用,使世界进入钢铁时代。

如果说 18 世纪以前的科学史属于“力学的世纪”,19 世纪和 20 世纪上半叶属于“物理学的世纪”的话,那么从 20 世纪开

始,生物学的地位越来越显示出它的重要性。在19世纪生物学领域就已取得两大成果——进化论和细胞学说,它们奠定了后来生命科学发展的基础。19世纪下半叶,为了探索个体与群体之间,细胞与遗传现象之间的内在联系,遗传学应运而生并迅速得到发展。与此同时,微生物学也在应用中悄然兴起。至此,我们看到,随着生物学研究的不断深化,研究对象从宏观转向微观,即从生物的群体、个体、逐步深入到揭示生命现象的微观机制。当人们发现生物与生物之间、生物与环境之间存在着某种平衡关系时,一门新的学科——生态学诞生了,于是人们在科学研究中把个体与群体,宏观与微观,此种生物与彼种生物等因素统一在共同的环境中,进行共存研究。这时,生态学又使人们把对生物学的研究引向综合。在19世纪下半叶到20世纪上半叶,生物学的理论研究取得了一系列重大突破,在应用方面也开始取得实际效果。

达尔文这位进化论的集大成者,他的《物种起源》一书,成为19世纪最具影响的科学著作之一。他将自己5年环球航行,20年研究、思考所形成的思想精华熔入其中。达尔文的进化论蕴涵着丰富的辩证法思想。它指出了生物的起源和进化问题,提出了自然选择的理论,有力地冲击了形而上学的世界观和物种不变的神创论。达尔文在提出进化论的同时已注意到了遗传现象。在《物种起源》一书中达尔文指出:“支配遗传的诸法则,大部分是未知的。没有人能够说明同种的不同个体间或者异种间的同一特性,为什么有时候能够遗传,有时候不能遗传;为什么子代常常重现祖父或祖母的某些性状,或者重现更远的祖先的性状;为什么一种特性常常从一性传给两性,或只传给一性……”。他认为,每一个能够各自独立变化的性状是与一种物质载体连接在

一起的；组成身体的所有细胞都能产生微粒，即所谓的生殖微粒，这些微粒都能以不同的强度各自独立地繁殖，它们由循环系统带至生殖细胞，集中在一起，生殖细胞就是由来自各种器官的物质组成的。显然，达尔文没有把生殖细胞和体细胞加以严格区分。人们把达尔文对遗传现象的解释称为“泛生说”。

瑞士著名的植物学家耐格里(1817—1891)，在1884年作出了细胞内有遗传物质——种质的推想。他认为，种质充满整个细胞，从而遍布全身；每一个可感知的性状，作为一种素质或遗传因子被包含在种质里。

19世纪末，德国生物学家魏斯曼(1834—1914)批判了泛生论，提出种质理论也称种质连续假说。他认为体细胞和生殖细胞有根本区别，从而把生殖细胞称作“种质”，试图用“种质论”来解释进化与发育的关系。魏斯曼的学说为遗传学的研究奠定了基础。

随着显微镜的发明和应用，人们对生物的认识开始深入到生物的细微结构。19世纪初，人们已经认识到细胞是植物和动物最基本的结构单位。德国生物学家施莱登和施旺建立了完整的细胞学说，并明确指出了细胞是由细胞生成的。19世纪40年代后，许多生物学家先后发现了细胞的分裂过程，到1879年，德国生物学家弗莱明(1843—1915)发现了染色质。在细胞进行有丝分裂时，染色质形成线状染色质丝，1888年，德国的瓦尔德尔将染色质丝命名为“染色体”。1885年比利时胚胎学家贝纳登(1845—1910)又发现了在形成配子时的“减数分裂”过程。随着细胞学说的建立和发展，许多鲜为人知的生物学的秘密相继被揭开了。这一切又都为遗传学的产生和发展创造了条件。

在19世纪末至20世纪初，遗传学的发展取得了重大突破。

为遗传学作出卓越贡献的代表人物是孟德尔和摩尔根。孟德尔通过豌豆杂交试验预见了遗传因子(基因)的存在,揭示了遗传的秘密,提出了“分离定律”和“自由组合定律”。分离定律被确定为遗传第一定律,系指一对遗传因子,其中一个为显性因子,另一个为隐性因子,在彼此结合的状态下,并不相互影响,相互沾染,而在形成配子时完全按原样分离到不同的配子中去。自由组合定律被确定为遗传第二定律,系指一对性状的分离与另一对性状的分离是相互独立的,它们可以自由组合,故又称独立分配律。遗憾的是,孟德尔超越时代的伟大发现,由于种种原因并没有被同时代的人所接受,竟至埋没达三十多年才被重新发现。孟德尔遗传定律的重新发现标志着一个绵延两千多年的关于生殖和遗传的臆想和猜测时代的终结。遗传学的进一步发展,使它与细胞学结合了起来。美国的萨顿(1877—1916)和德国的鲍维里是实现这一结合的先行者。他们在1902年利用显微镜证实了染色体行为和遗传因子的相似性。摩尔根利用著名的果蝇试验发现了“基因连锁”现象,即几个相邻的基因往往组成“连锁”一起遗传而不彼此分开,不同染色体上的基因可以自由组合,但在同一染色体上的基因却不能自由组合。这就是连锁遗传定律,亦称遗传第三定律。摩尔根和他的学生在研究工作中还发现了基因“交换”现象,提出了基因在染色体上直线排列的学说,说明了由杂交所引起的基因重组是使生物发生变异的原因,并指出基因重组的发生与外界环境没有必然的联系,因此获得性状是不遗传的等等。摩尔根提出了较完整的基因理论,发展了孟德尔的遗传学说。

在19世纪下半叶,就生物学而言,除了细胞学说和生物进化论两大发现之外,还有微生物学的研究和应用也取得了重大

进展。尤其是法国的巴斯德(1822—1895)为微生物学的建立及揭示微生物的秘密,取得了令世人瞩目的功绩。巴斯德奠定了细菌致病学说,随后他不仅提出并且创造了细菌消毒法,他还发现了免疫作用,成为抗御细菌感染,造福人类的千秋功业。

1870—1918年,在这近半个世纪的时间内,科学技术的发展取得了惊人的进步。首先是生活在这一历史时期的科学家们,他们的创造性劳动和对科学技术的献身精神是推动科学技术发展的主要动力。在这一历史时期,活跃着一大批出类拔萃的科学家和发明家,他们在各自的领域内都做出了不寻常的贡献。例如卓越的物理学家法拉第、麦克斯韦、爱因斯坦、玻尔、开尔文勋爵(汤姆生)、普朗克、德布罗意、薛定谔、海森堡;数学大师希尔伯特、彭加勒;化学家门捷列夫、凯库勒、霍夫曼、拜耳;生物学家孟德尔、摩尔根、巴斯德;炼钢专家贝塞麦、托马斯、马丁父子、西门子兄弟;为内燃机的发明和改进作出重大贡献的雷诺、奥托、戴姆勒、本茨、狄塞尔;为电力技术的发展和應用建立了不朽功勋的爱迪生、莫尔斯、贝尔、波波夫、马可尼,以及第一架飞机的制造者莱特兄弟和率先使汽车投入大规模生产的技师兼企业家福特……

在这一时期各国的科学家们相继建立了一批著名的实验室,并在科学研究中形成了多支享有盛名的学术流派。著名的实验室如贝尔实验室、爱迪生发明工厂、卡文迪许实验室、拜耳实验室、巴斯德研究所等。著名的学术流派有哥廷根学派、哥本哈根学派、摩尔根学派等。这些著名的实验室和学术流派为科学技术的发展和学术研究的争鸣发挥了重要作用。

在科学理论的指导下,技术发明获得成功,技术改进取得突破,技术成果又迅速投入应用,形成强大的社会生产力。这是

1870—1918年这一历史时期的一个最显著的特点。如在电学理论的指导下,电力技术迅速发展起来,先后发明了发电机、电动机、电灯、电报、无线电等,这些技术发明投入应用以后,使人们的生产、生活发生了前所未有的变化。有机化学的发展是如此,炼钢技术的发展是如此,内燃机的发展亦是如此。科学技术能够产生强大的生产力,科学技术就是生产力,在当时科学技术发达的国家不仅形成了这样一种观念,而且成为活生生的现实。

二、热机变革及对交通事业的促进

蒸汽机作为一种强大的工业动力机械,自 18 世纪发明以来不断得到改进,对当时的工业革命产生了巨大的作用和影响,并导致了火车和轮船的发明。其后,在陆路和水路运输业中都迅速得到了应用。然而蒸汽机又存在着许多难以克服的缺点,诸如效率低(热效率一般在 5—8%)、速度慢、体积大、运转笨、安全性差(时常发生爆炸)。由于其在性能方面难以取得突破,因此不易在更大的范围推广,应用便受到了限制,因此,人们祈盼着发明理想的热机。1859 年 8 月 29 日,美国采矿工程师德莱克在宾夕法尼亚州利用地下取盐的钻机打出了世界上第一口油井,从此,石油成为化学工业的重要原料,亦为内燃机的发展提供了能源条件。在这种情况下,内燃机便应运而生了。

1. 内燃机的发明与发展

说起内燃机发明来,应当说首先是火炮给了人们重要启迪,甚至可以说火炮是内燃机的雏形。最早利用火炮原理进行动力机械研究的是著名物理学家惠更斯。由于发明内燃机的条件尚不具备,结果是尽管内燃机的设想在蒸汽机之前,而内燃机的诞生却在蒸汽机之后。